

Universidad Nacional de la Plata
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



Trabajo final de carrera

**“Determinación del periodo crítico en diferentes cultivares de
avena”**

Estudiante: Disavia, Tomás

Legajo: 26598/5

Director: PhD. MSc. Ing. Agr. Maria Rosa Simón

Codirector: Ing Agr. Juan Ignacio Dietz

Fecha de entrega: 12 de diciembre de 2019

ÍNDICE DE CONTENIDOS

TÍTULO PÁGINA

Índice de Contenidos.....	2
Índice de tablas.....	3
Índice de figuras.....	4
Resumen.....	5
1. Introducción.....	6
1.1 Principales usos.....	8
1.2 Requerimientos edafoclimáticos.....	8
1.3 Determinación del rendimiento y periodo crítico.....	9
2. Hipótesis.....	12
3. Objetivos.....	12
4. Materiales y métodos.....	12
4.1. Ubicación y diseño experimental de los ensayos.....	12
4.2. Labores realizadas.....	12
4.3. Evaluaciones.....	13
4.4. Datos climáticos.....	14
4.5. Análisis de datos.....	16
5. Resultados.....	16
5.1. Datos climáticos.....	16
5.2. Análisis de suelo.....	16
5.3. Rendimiento y sus componentes.....	17
6. Discusión.....	21
7. Conclusión.....	25
8. Bibliografía.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de análisis de suelo.....**Pág. 16**

Tabla 2. Cuadrados medios y valor de p (ANVA) de número de panojas (NP), número de granos por panoja (NGP), número de granos por metro cuadrado (NGM²) y rendimiento, en un ensayo con 4 genotipos de avena.....**Pág. 17**

Tabla 3. Medias de número de panojas (NP), número de granos por panoja (NGP), número de granos por metro cuadrado (NGM²), peso de mil granos (PMG) y rendimiento, para el tratamiento genotipos, en un ensayo con 6 tratamientos de sombreado y 4 genotipos de avena.....**Pág. 18**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales productores de avena, (Cotrisa, 2017).....	Pág. 7
Figura 2: Principales exportadores de avena,(Cotrisa, 2017).....	Pág. 7
Figura 3: Principales importadores, (Cotrisa, 2017).....	Pág. 8
Figura 4: Superficie sembrada de avena en porcentaje por provincias (Ministerio de agroindustria, 2017).....	Pág. 8
Figura 5: Temperaturas medias mensuales del año 2015 e históricas.....	Pág. 14
Figura 6: Precipitaciones mensuales del año 2015 e históricas.....	Pág. 14
Figura 7: Radiación solar media mensual del año 2015.....	Pág. 15
Figura 8: Humedad relativa mensual del año 2015.....	Pág. 15
Figura 9: Medias del Numero de panojas.m ⁻² (NP) en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en un ensayo de avena con 4 genotipos.....	Pág.19
Figura 10: Numero de granos. Panoja en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en 4 genotipos de avena.....	Pág. 20
Figura 11: Numero de granos.m ² en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en 4 genotipos de avena.....	Pág. 20
Figura 12: Peso de mil granos en gramos en los diferentes sombreos y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), para los distintos tratamientos (sombreos) en 4 genotipos de avena.....	Pág. 21
Figura 13: Rendimiento (Kg.ha ⁻¹) en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en un ensayo para 4 genotipos de avena.	Pag. 22

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar el periodo crítico para la generación de rendimiento en el cultivo de avena para cuatro genotipos, incluyendo dos líneas del criadero FCAYF y dos cultivares comerciales de alto rendimiento en grano. El ensayo se llevó a cabo en la Estación Experimental Julio Hirschhorn, perteneciente a la FCAYF, de la UNLP, con un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones, siendo la parcela principal los genotipos y las sub-parcelas los tratamientos de sombreo. Los sombreos consistieron en un testigo sin sombrear (T) y cinco tratamientos sombreados, S_1 desde primer nudo visible, S_2 desde segundo nudo visible, S_3 desde tercer nudo visible, S_4 desde bota y S_5 desde floración durante 25 días. Se determinó el número de granos. m^{-2} (NGM²). Para ello se obtuvo el número de panojas. m^{-2} (NP) y el número de granos por panoja (NGP). Sobre estos granos se calculó el peso de mil granos (PMG). Los datos se analizaron mediante programa estadístico para parcelas divididas y las medias se compararon mediante LSD ($P=0,05$). Los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento de grano expresó las mayores caídas en los tratamientos S_2 y S_3 , explicadas por la disminución en el NGM² y NGP. Por su parte, el PMG, presentó la mayor caída en el S_4 . Al observar el NP se visualizó una tendencia diferente a lo visto en las dos primeras variables analizadas, solo el testigo se diferenció del resto de los tratamientos y la disminución fue más leve.

1. Introducción

La avena (*Avena sativa* L.) es una gramínea de gran versatilidad en su utilización destinada, en su mayor parte, para consumo animal y, en menor medida, para consumo humano.

En la producción mundial de cereales ocupa el quinto lugar, promediando para la campaña 2016/17 los 23,3 millones de toneladas (t) (FAO, 2017). Es un cultivo de importancia en los climas fríos del hemisferio norte, siendo los principales productores Rusia, Canadá, Estados Unidos, Australia, UE (Finlandia, Alemania, Polonia y Suecia) Brasil y Argentina (Figura 1).

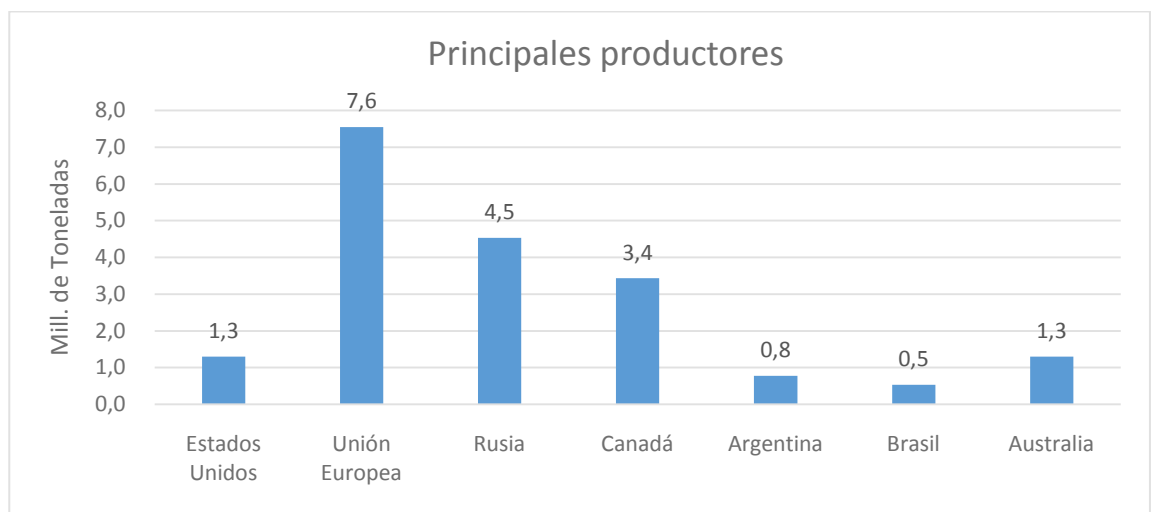


Figura 1. Principales productores de avena (Cotrisa, 2017)

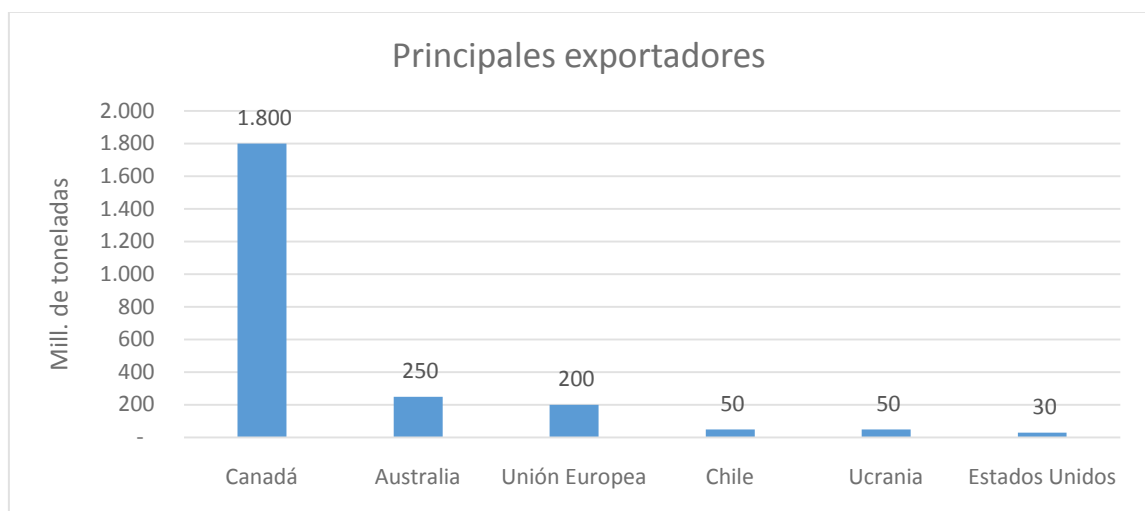


Figura 2. Principales exportadores de avena (Cotrisa, 2017)

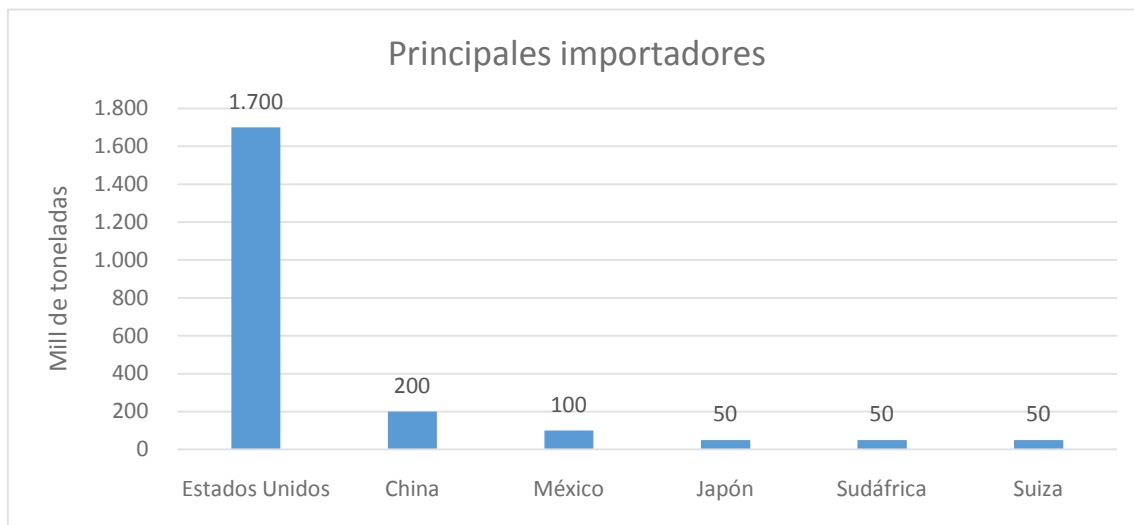


Figura 3. Principales importadores (Cotrisa, 2017).

En Argentina se siembran alrededor de dos millones de hectáreas, destinándose aproximadamente un 70% para uso forrajero. La Provincia de Buenos Aires es la principal productora de grano, seguida por La Pampa y Córdoba (Ministerio de Agroindustria, 2017). Es un cereal que forma parte de las rotaciones, especialmente en la región sur de la Provincia de Buenos Aires, observándose en algunas campañas un aumento en el área destinada a avena para grano (Forjan & Manso, 2011). Argentina cuenta con condiciones agroecológicas favorables para la producción de avenas graníferas, que apoyado con variedades de alto potencial de rendimiento, buen comportamiento sanitario y una tecnología adecuada permitirían abastecer a potenciales mercados.

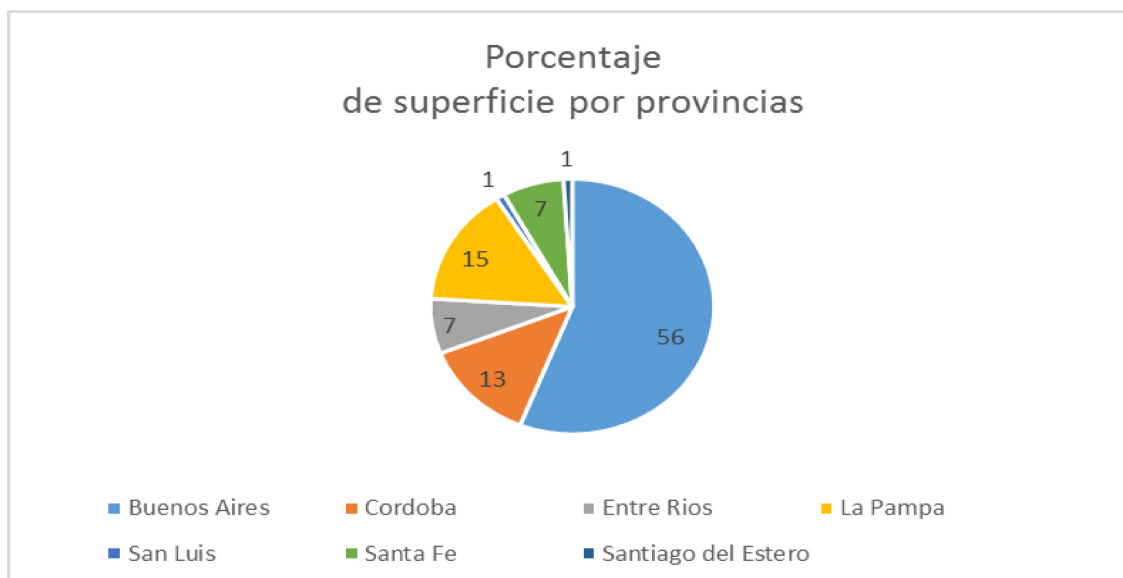


Figura 4. Superficie sembrada de avena en porcentaje por provincias (Ministerio de agroindustria, 2017)

1.1 Principales usos

La avena se caracteriza porque su producción puede estar orientada a diversos usos, parte de esto se basa en su plasticidad, que permite obtener producción de pasto y grano a partir de una misma siembra (Beratto, 2002). Su valor radica en la diversidad de usos y tipos de productos que puede obtenerse de su cultivo: grano, forraje verde, forraje conservado (heno y ensilaje), doble propósito (verde-grano) y uso del rastrojo. Esto, por un lado, permite alcanzar una alta producción de materia seca de buena calidad que se reserva para aumentar la estabilidad de la oferta forrajera al ganado en el periodo otoño-invernal (Di Nucci *et al.*, 2011). Por otro lado, permite liberar tempranamente el lote para implantar a tiempo cultivos de segunda, por ejemplo soja, utilizados en sistemas mixtos de producción (Massigoge *et al.*, 2011)

El grano se emplea principalmente en la alimentación del ganado, incorporándose como parte de la dieta en los sistemas de tambo e internada. En menor escala, se utiliza como alimento para consumo humano, en productos dietéticos, triturada o molida y para preparar diversos platos. También se mezcla con harina de otros cereales en la fabricación de pan, así como en la fabricación de alcohol y bebidas (Squella & Ormeño, 2007).

Su grano es de calidad, contiene proteínas de alto valor biológico, especialmente ricas en lisina, superior a otros cereales de grano pequeño. Asimismo, el contenido en proteínas digestibles es mayor que en maíz y tiene una mayor riqueza en materia grasa que la cebada y el trigo, y un alto contenido de hidratos de carbono como los B glucanos, lo que es de importancia para la prevención del colesterol. También contiene sodio, potasio, calcio, fósforo, magnesio, hierro, cobre, cinc, vitaminas B1, B2, B3, B6 y E y buena cantidad de fibras, que contribuyen en la alimentación al buen funcionamiento intestinal, adicionalmente contiene bajas cantidades de gluten en relación al trigo (Squella & Ormeño, 2007).

1.2 Requerimientos edafoclimáticos

La avena es muy sensible a las altas temperaturas sobre todo durante la floración y la formación del grano, es muy exigente en agua y se adapta a terrenos muy diversos (Beratto, 2002). La avena es muy exigente en agua por tener un elevado coeficiente de transpiración, el cual es superior incluso al de la cebada, aunque también la puede perjudicar un exceso de humedad. Las necesidades hídricas son las más elevadas de todos los cereales de invierno y es el que requiere más agua por

unidad de materia seca (Beratto, 2002), por lo que se adapta mejor a climas frescos y húmedos de zonas nórdicas y marítimas (García, 2007). Es considerada una planta de invierno, localizándose las mayores áreas de producción en los climas templados más fríos, aunque tiene una menor resistencia al frío que la cebada y el trigo, además es uno de los cereales más tolerantes a suelos ácidos (pH 4,5 a 6).

1.3 Determinación del rendimiento y periodo crítico

El rendimiento en los cereales suele definirse mediante algunos modelos simples, uno de ellos contempla la generación de biomasa y su partición, y otro los componentes numéricos, siendo estos modelos complementarios y no excluyentes.

Respecto al primero de los modelos, éste puede ser expresado a través de la cantidad de biomasa acumulada durante el ciclo del cultivo y qué proporción de ésta es particionada hacia los órganos reproductivos, es decir el índice de cosecha (IC) (Van der Werf, 1996). De esta manera, la producción de biomasa para un amplio rango de cultivos, está determinada por la cantidad de radiación incidente durante el período de crecimiento (Rinc), la eficiencia en la intercepción de radiación (E_i), la cual es función del índice de área foliar (IAF) y de la arquitectura del canopeo (determinada por el coeficiente k de extinción) (Monteith, 1977; Evans *et al.*, 1978); y la eficiencia de uso de la radiación (EUR), que expresa la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada o absorbida en biomasa (Evans *et al.*, 1978; Gifford *et al.*, 1984). En el segundo modelo citado, el rendimiento es definido por sus dos principales componentes numéricos, el número de granos. m^{-2} y el peso promedio de los mismos (Slafer & Rawson, 1994). De los dos componentes, el primero es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final (Peltonen-Sainio *et al.*, 2007; Fischer, 2008). Algunas de estas variaciones son debidas a factores ambientales (humedad, temperatura, radiación, etc.) y de manejo (fecha de siembra, fertilización, densidad, etc.). Aunque el número de granos. m^{-2} se forma durante todo el ciclo, es posible identificar un momento más breve, en el cual el cultivo debe explorar las mejores condiciones ambientales posibles, con la estructura más adecuada para aprovechar estos recursos y maximizar el rendimiento. Hay escasos trabajos sobre la generación del rendimiento en avena (Peltonen-Sainio & Peltonen, 1995; Peltonen-Sainio *et al.*, 2007, Peltonen-Sainio *et al.*, 2009), por ello se hará la descripción en base a trigo y cebada, fundamentada por las similitudes de la avena con estos cultivos.

El ciclo empieza con la imbibición de la semilla y la activación de los procesos enzimáticos, que desencadenan la germinación y emergencia de la plántula, dando

inicio a la etapa vegetativa. En cada plántula, se expanden las hojas preformadas del embrión, y en el ápice caulinar empieza la diferenciación de primordios foliares, proceso que se prolongará hasta la diferenciación de la primer espiguilla, finalizando la etapa vegetativa y dando comienzo a la etapa reproductiva. Este cambio, denominado “doble lomo” ocurre en términos generales entre la aparición de la 2ª a la 6ª hoja (Barnard, 1964) dependiendo del genotipo y de los estímulos ambientales (temperatura, fotoperiodo y vernalización).

La etapa reproductiva comienza entonces con la diferenciación de espiguillas. Cuando aproximadamente la mitad de éstas han sido iniciadas, empieza la diferenciación de primordios florales (flósculos) en las espiguillas centrales. De esta forma, hasta que finalice la diferenciación de la espiguilla terminal en el ápice del vástago, coincidirán ambos eventos. Luego del estado de espiguilla terminal en trigo, comienza la elongación de los entrenudos y ésto establece un cambio en la partición de los asimilados dentro de la planta, los que se destinan principalmente al crecimiento del tallo, cesando en consecuencia la producción de macollos. A partir de ese momento y dependiendo de los recursos disponibles, se producirá la mortandad de parte de ellos, quedando definido al final de este proceso el número de macollos.m⁻² (Frederick & Bauer, 1999; Slafer *et al.*, 2003). A partir del estado de espiga embuchada comienza la mortandad de flores (Miralles, 2004). Todo este período es sin duda el más importante en términos de generación de componentes del rendimiento. Durante el mismo, queda determinado el número de macollos.m⁻² y en la floración el número de granos.espiga⁻¹, ambos componentes centrales del número de granos por unidad de área. El número de hojas ha quedado establecido en la etapa vegetativa, pero su aparición continuará durante toda la etapa reproductiva (Slafer *et al.*, 2003).

Una característica distintiva de cada una de estas especies, es el número de flores.espiguilla⁻¹, siendo de importancia en la generación del rendimiento y el manejo de cada cultivo. En trigo, las espiguillas son determinadas, diferenciando generalmente un número máximo de primordios florales que oscila entre 6 y 11 (Langer & Hanif, 1973; Kirby, 1988; Sibony & Pinthus, 1988; Siddique *et al.* 1989; Youssefian *et al.*, 1992). Sin embargo, sólo se establecen como flores fértiles en antesis entre 0 y 5 primordios, según el cultivar, el ambiente y la posición de la espiguilla en la espiga (Langer & Hanif, 1973; Kirby, 1988; Siddique *et al.* 1989; Youssefian *et al.*, 1992). En cebada, la espiga tiene diferenciación indeterminada de espiguillas, diferenciando sólo un primordio de flor.espiguilla⁻¹, que posteriormente podrá ser o no ser una flor fértil (González *et al.*, 2003; Arisnabarreta & Miralles, 2006). Por ello, en cebada, al tener

sólo una flor.espiguilla⁻¹, el número de espiguillas.espiga⁻¹ y el número de macollos.m⁻² serán de mayor peso en la generación del número de granos.m⁻². En avenas cultivadas, la diferenciación de las espiguillas de la panoja es indeterminada, mientras que cada espiguilla diferencia 2 o 3 flores (Bonnett, 1961). Por lo tanto, estas características morfológicas son fundamentales en el establecimiento del número de granos.espiga⁻¹ o granos.panoja⁻¹, dándole al trigo y la avena mayor plasticidad ante factores adversos.

La determinación de los componentes del rendimiento ocurre de manera secuencial, donde algunos de ellos se originan y son fijados antes que otros, ocurriendo un cierto grado de superposición en la definición de un componente y otro. Aunque los distintos subcomponentes del número de granos.m⁻² se forman durante todo el ciclo, es posible identificar un periodo crítico más acotado, en el cual el cultivo debe explorar las mejores condiciones ambientales posibles. Fischer (1985), determinó en trigo que el lapso que media desde 20 días prefloración y 10 posfloración, es de suma importancia para la generación del número de granos.m⁻². En cebada, muchos trabajos extrapolan el período crítico para la determinación del rendimiento del trigo (Grashoff & Antuono, 1997; Boonchoo *et al.*, 1998; Miralles *et al.*, 2000; Prystupa *et al.*, 2004). Sin embargo, Arisnabarreta & Miralles (2008) demostraron que el periodo crítico presenta diferencias respecto a trigo, ya que se ubicaría algunos días más temprano, entre los 40 días y 10 días antes de la espigazón. Esto se debería principalmente a que el número de espigas.m⁻², es el principal componente que explica las variaciones en el número de granos.m⁻² en este cultivo. En avena, existe un trabajo reciente (Mahadevan *et al.*, 2016) sobre determinación de periodo crítico, evaluando tres cultivares en Australia y dos cultivares en Chile. Los resultados obtenidos indican que el periodo crítico se ubica para las localidades de Australia entre los 35 días antes y los 14 días después la floración, y para la localidad de Valdivia en Chile, entre 30 días antes y los 20 días posteriores

Las condiciones ambientales que se presentan durante el periodo crítico, incidirán de manera importante en el número final de granos establecidos. Algunos autores, como Slafer *et al.* (1990) encontraron que el mayor peso de las espigas en floración de trigo estaba positivamente asociado con un mayor número de flores fértiles en ese momento. Dependiendo del cultivar y de las condiciones de crecimiento, la mortandad de flores oscila entre 37 y 40% en cebada (Arisnabarreta & Miralles,

2006) y entre 60 y 85% en trigo (González *et al.*, 2011). La mortandad de las flores se debe a la limitada disponibilidad de asimilados para el crecimiento de la espiga debido al crecimiento simultáneo del tallo (Kirby, 1988; González *et al.*, 2011). De esta manera ante iguales valores de partición a espigas, una mayor cantidad de biomasa acumulada a floración determinará un mayor peso de espigas y por lo tanto un mayor número de granos. Por consiguiente el número de granos dependerá del estado del cultivo antes de comenzar el periodo crítico y las condiciones ambientales que disponga durante ese periodo. En un cultivo sin limitantes de agua, nutrientes y libre de adversidades, el crecimiento depende de la cantidad de radiación solar que intercepta y de la temperatura, que actúa acortando la duración de las etapas. Se ha definido un índice, denominado cociente fototermal (Q) que relaciona el efecto positivo del incremento de la radiación y el negativo del incremento de la temperatura sobre el número de granos.m⁻² (Fischer, 1985). De esta manera, si la radiación solar afecta al número de granos a través de su relación lineal positiva con la tasa de crecimiento del cultivo, y la temperatura lo afecta negativamente, acelerando el desarrollo, es posible pensar que el número de granos.m⁻² depende de estos dos factores ambientales durante el periodo crítico definido alrededor de la antesis (Miralles *et al.*, 2003).

La determinación del periodo crítico permitiría caracterizar el momento en que los genotipos necesitan los valores más adecuados de cociente fototermal (Q) como así también evitar adversidades bióticas y abióticas con el objetivo de obtener altos rendimientos de granos.

2 Hipótesis

- El periodo crítico en la generación de rendimiento de avena tiene una duración similar al de trigo

3 Objetivo

- Determinar la ubicación del periodo crítico en la generación de rendimiento en avena

4 Materiales y Métodos

4.1 Ubicación y diseño experimental de los ensayos

Los ensayos se llevaron a cabo en la Estación Experimental Julio Hirschhörn, perteneciente a la FCAYF, de la UNLP. Se sembraron cuatro genotipos de avena,

incluyendo dos líneas del criadero FCAyF y dos cultivares comerciales de alto rendimiento en grano (Calén y Maná). El ensayo estuvo compuesto por un diseño de parcelas divididas, con tres repeticiones, siendo la parcela principal los genotipos, y las subparcelas seis tratamientos de sombreo que permitieron determinar el período en que el cultivo deprimió más su rendimiento por ausencia de radiación. Cada parcela estuvo representada por 21 surcos orientados de norte a sur, de 8 m de largo por 0,20 m entre surcos, siendo la superficie de 33,6 m².

4.2 Labores realizadas

La preparación del suelo consistió en un esquema de labranza convencional. La siembra se realizó el 21 de Julio de 2015, a mano sobre surcos previamente marcados con una densidad de 250 pl.m⁻². Las parcelas fueron manejadas para obtener una alta uniformidad. Se fertilizó a la siembra con 50 kg.ha⁻¹ de nitrógeno (N) en forma de urea y 50 kg.ha⁻¹ de fósforo (P) como fosfato tricálcico. Se realizó control de malezas, de insectos y de enfermedades. No fue necesario emplear riego.

4.3 Evaluaciones

Los tratamientos de sombreo consistieron en un testigo sin sombrear que fue el control (C) y cinco tratamientos sombreados (S_n) durante 25 días, en diferentes momentos del desarrollo.

S₁ desde primer nudo visible, EC 31 (Zadoks *et al.*, 1974)

S₂ desde segundo nudo visible, EC 32

S₃ desde tercer nudo visible, EC 33

S₄ desde vaina engrosada, EC 40

S₅ desde floración, EC 60

Para el sombreo se utilizó una malla que se ubicó 20 cm por encima del canopeo, la cual disminuyó en un +/-70 % la radiación incidente. Para observar si la malla produjo alteraciones en la temperatura, se colocaron sensores de temperatura. La superficie sombreada fue de por lo menos 5 m² eligiendo sitios homogéneos dentro de la parcela.

Se determinó el número de granos.m⁻² (NGM2). Para ello se obtuvo el número de panojas.m⁻² (NP), (en dos metros lineales) y el número de granos por panoja (NGP) (se cosecharon 40 panojas al azar y se las trilló a mano). Sobre estos granos se calculó el peso de mil granos (PMG). Se determinó el rendimiento (Rend.) en grano de cada tratamiento por cosecha sobre una superficie de 3 m².

4.4 Datos climáticos

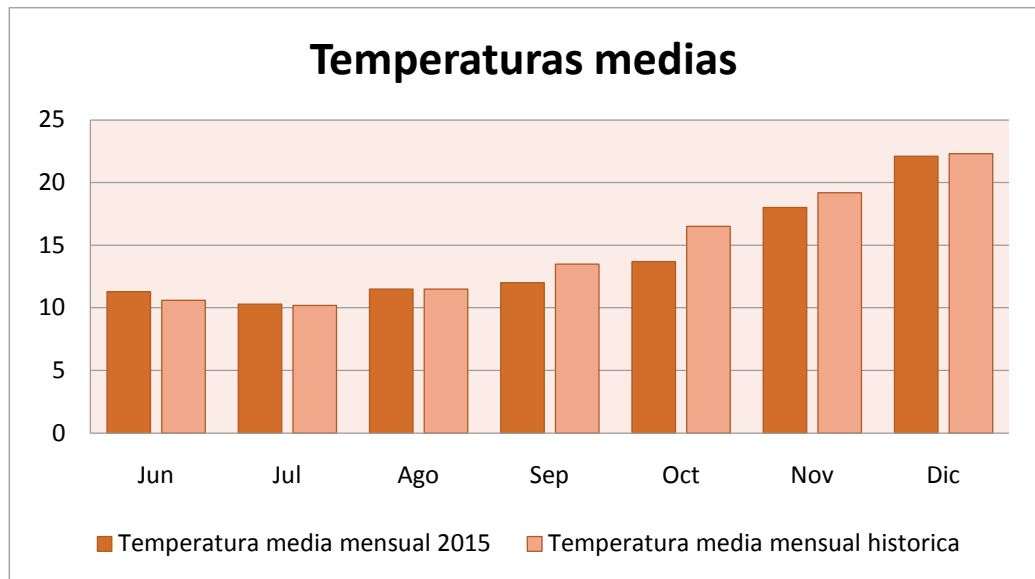


Figura 5. Temperaturas medias mensuales del año 2015 e históricas

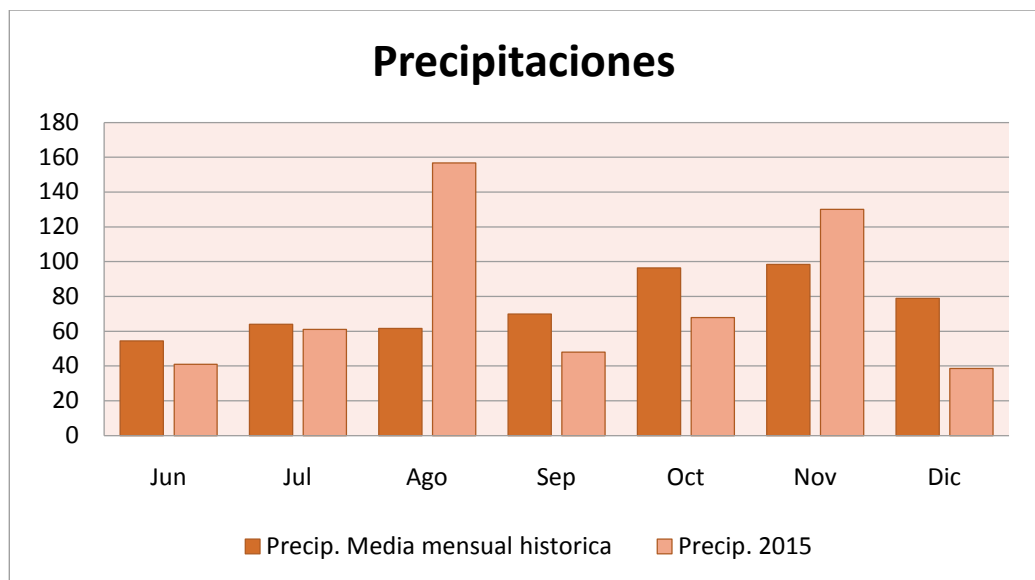


Figura 6. Precipitaciones mensuales del año 2015 e históricas

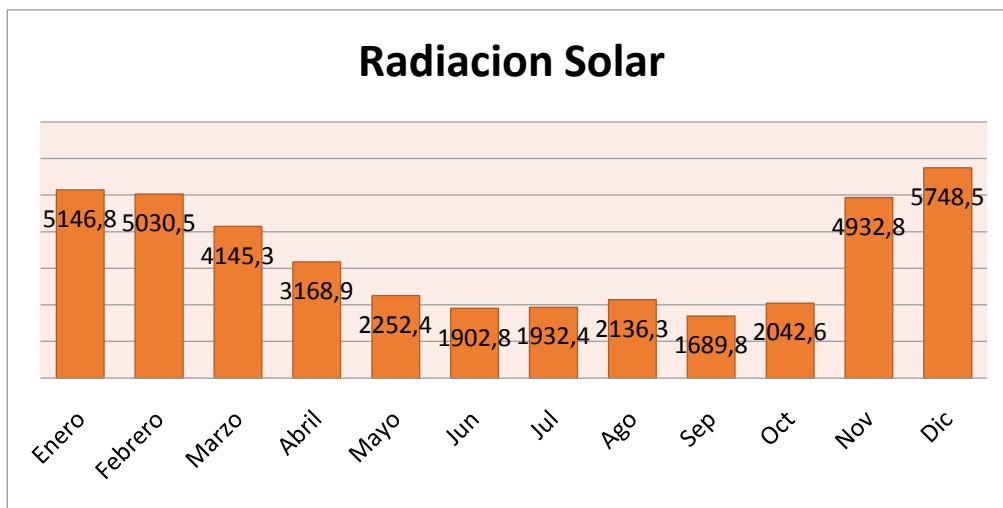


Figura 7. Radiación solar media mensual del año 2015

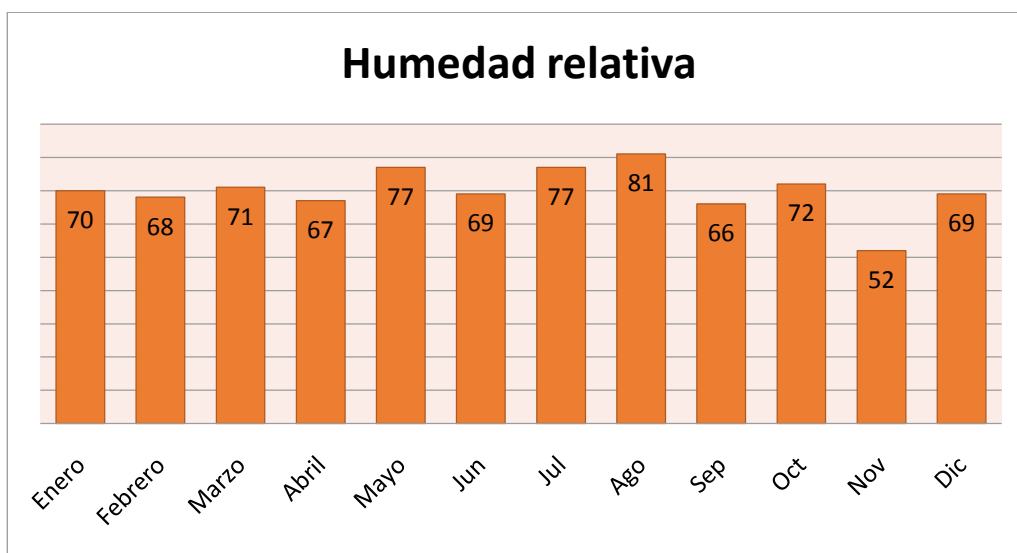


Figura 8. Humedad relativa mensual del año 2015

4.5 Análisis de datos

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza para ensayos en bloques al azar para número de panojas, número de granos por panoja, número de granos. m², peso de mil granos, rendimiento y biomasa. Las medias se compararon mediante el test de LSD (P=0,05).

5 Resultados

5.1 Datos climáticos

En el periodo donde se realizó el ensayo, las precipitaciones mensuales tuvieron variaciones con respecto a la media histórica, presentando así, los meses de agosto y noviembre valores superiores, mientras que los meses de septiembre, octubre y diciembre tuvieron valores más bajos y los meses de junio y julio fueron levemente inferiores (Figura 6).

Con respecto a las temperaturas, mostraron valores generalmente similares a la media histórica, teniendo pequeñas variaciones, que se presentaron en septiembre, octubre y noviembre con valores inferiores y por otro lado junio evidenció un valor levemente mayor a la media histórica. Los valores medios máximos y mínimos en este periodo fueron de 22,1°C y 10,3°C respectivamente (Figura 5).

Finalmente los resultados correspondientes a radiación solar y humedad se mantuvieron en los valores normales históricos (Fig. 7 y 8).

5.2 Análisis de suelo

El suelo se caracterizó por ser un *Argiudol* típico perteneciente a la serie Los Hornos con las características indicadas en la Tabla 1. Dicho perfil está bien provisto de P como también de N total, y una gran cantidad de materia orgánica, lo cual genera buenas condiciones para el desarrollo de cultivos agrícolas, y por lo tanto, para este ensayo.

Tabla 1. Tabla de análisis de suelo en un ensayo con tratamientos de sombreo y cuatro genotipos de avena

Serie Los hornos	0-20 cm	20-40 cm
pH (1:2,5)	6,15	5,9
Carbono	1,92%	
Materia Orgánica	3,31%	
N Total	0,17%	
Nitratos	26,3 ppm	22,5 ppm
Fosforo	16,1 ppm	

5.3 Rendimiento y sus componentes

Bajo las condiciones de nuestro ensayo se encontraron diferencias significativas entre **Genotipos** para NP (<,001), NGP (<,001) y rendimiento (<,001), mientras que para los tratamientos de **Sombremos** hubo diferencias para todas las variables estudiadas, NP, NGP, NGM², PMG y rendimiento (Tabla 2).

Tabla 2. Cuadrados medios y valor de p (ANVA) de número de panojas (NP), número de granos por panoja (NGP), número de granos por metro cuadrado (NGM²) y rendimiento, en un ensayo con cuatro genotipos de avena.

	GL	NP	NGP	NGM ²	PMG	Rendimiento
Genotipo	3	72161 (<,001)	2027,38 (<,001)	3,144E+07 (0,226)	21,007 (0,181)	1276868 (<,001)
Error	6	4434	51,71	1,626E+07	9,280	40707
Sombreo	5	14143 (<,001)	1406,33 (<,001)	3,642E+08 (<,001)	27,920 (<,001)	9690421 (<,001)
Genotipos x Sombremos	15	2702 (0,640)	89,34 (0,169)	9,013E+06 (0,600)	3431 (0,114)	165187 (0,150)
Error	40	3256	61,31	1,036E+07	3,413	109758
Total	71					

En el **NP** se encontraron diferencias significativas para los tratamientos **Genotipos** y **Sombremos**. Las diferencias entre genotipos pueden ser explicadas por el hecho de que Maná y Calén mostraron mayor **NP** que las líneas L2 y L5 (Tabla 3).

Para el **NGP** se encontraron diferencias significativas para los tratamientos **Genotipos** y **Sombremos**. En el caso del tratamiento **Genotipos** la línea L5 presentó los valores más altos y los genotipos Calén y Maná los valores más bajos, en tanto la Línea 2 mostró un valor intermedio (Tabla 3).

El rendimiento de grano mostró diferencias significativas para los tratamientos **Genotipos** y **Sombreo** (Tabla 2). Las líneas L2 y L5 fueron los genotipos destacados, diferenciándose significativamente de Calén y Maná (Tabla 3).

En el caso de **NGM²** y **PMG** sólo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de **Sombremos**.

Tabla 3. Medias de número de panojas (NP), número de granos por panoja (NGP), número de granos por metro cuadrado (NGM2), peso de mil granos (PMG) y rendimiento, para el tratamiento genotipos, en un ensayo con seis tratamientos de sombreo y cuatro genotipos de avena.

	NP	NGP	NGM2	PMG	Rendimiento
Calen	422b	48,3c	19785a	27,93a	1945b
Línea 2	354c	61,4b	21990a	28,73a	2528 a
Línea 5	313d	71 a	22434a	30,01a	2381 a
Mana	452a	50,1c	22676a	27,57a	2087 b
LSD	47,1	6,46	2655,5	1,524	273,4

Letras diferentes dentro de la misma variable indican diferencias significativas, LSD <0,05

En el **NP**, las diferencias entre los sombreos pueden explicarse porque el testigo (438 panojas) se diferenció significativamente del resto de los tratamientos (Fig.9). La disminución ocasionada por los sombreos varió desde un 13 a un 17 %.

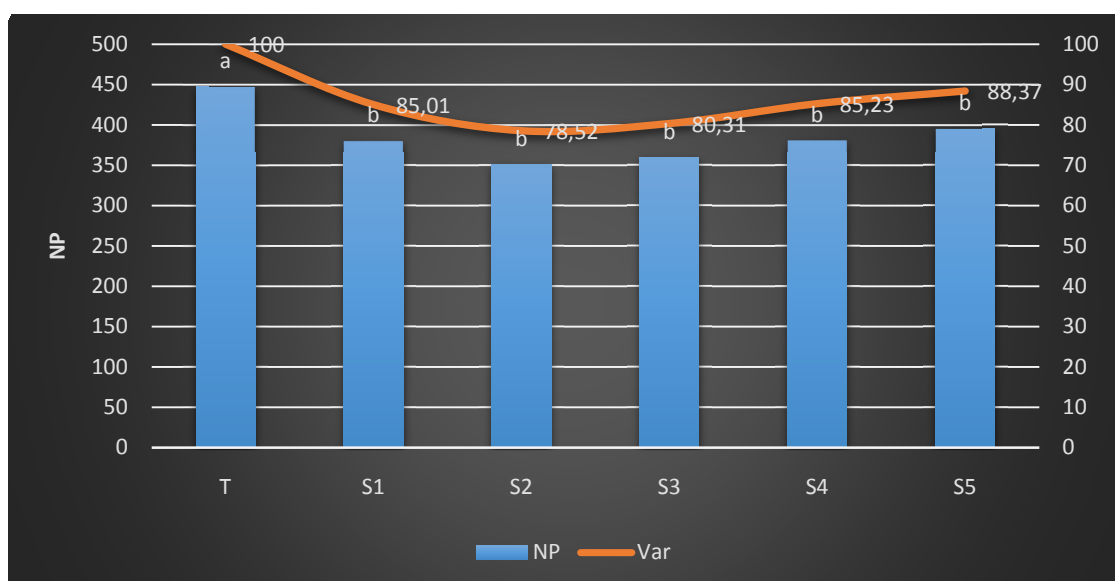


Figura 9. Medias del Número de panojas.m⁻²(NP) en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en un ensayo de avena con cuatro genotipos. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (sombreos). LSD p<0,05

Los resultados de la variable **NGP** mostraron diferencias significativas en los tratamientos de sombreo, explicadas porque el Testigo (70,5 granos) a excepción de S5 (65,2 granos) se diferenció de los tratamientos de sombreo. Las mayores diferencias se observaron en S2 y S3 con caídas del 36% y 39% respectivamente en comparación con el testigo (Figura 10).

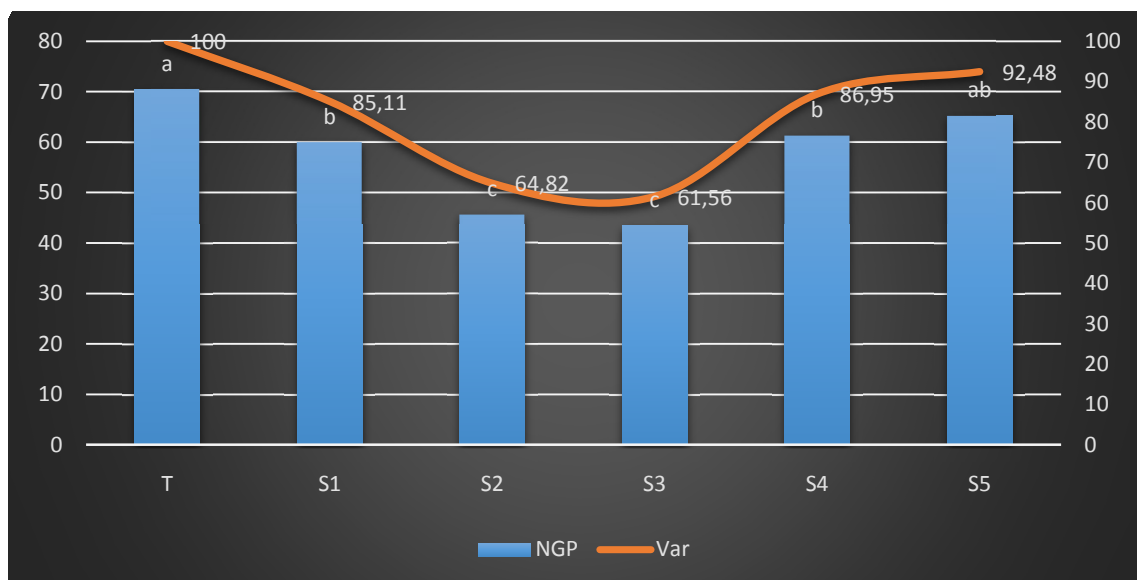


Figura 10. Número de granos. Panoja⁻¹ en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en cuatro genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (sombreos). LSD $p < 0,05$

En el **NGM²** las diferencias entre los sombreos se debieron a que el testigo (con 30383 granos) presentó el mayor NGM² diferenciándose del resto de los tratamientos. Los tratamientos S2 y S3 fueron los que obtuvieron el menor valor de NGM², con caídas del 48 y 49% respectivamente con respecto al testigo (Figura 11).

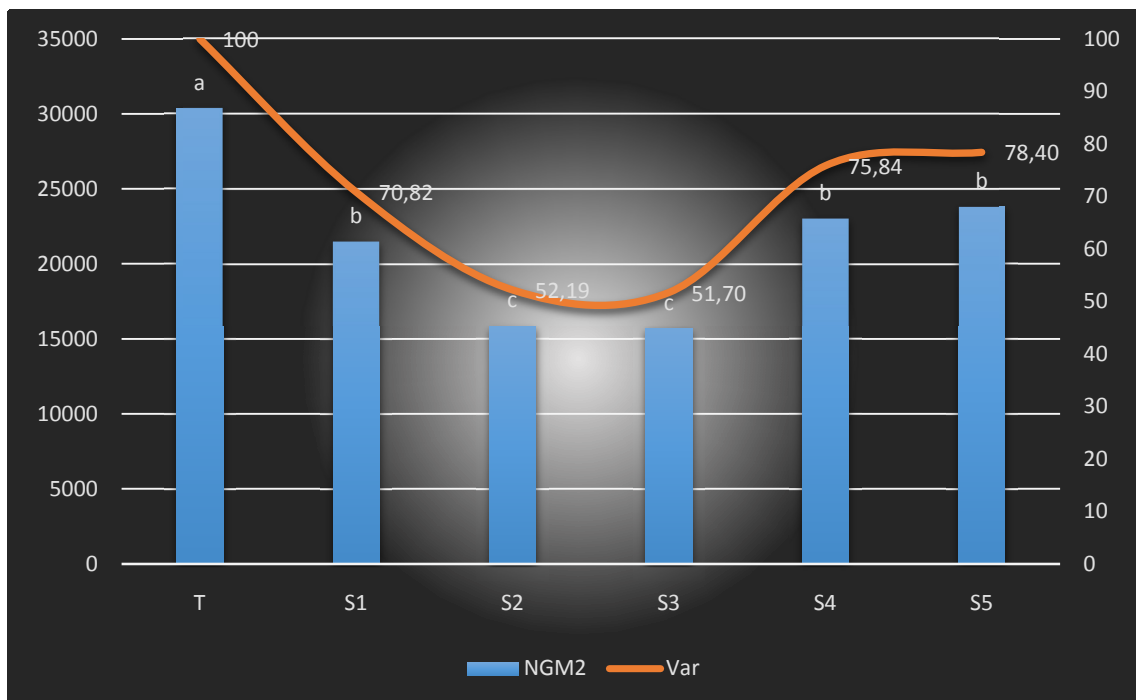


Figura 11: Número de granos.m⁻² en los diferentes sombros, y variación de cada sombro respecto al testigo (Var= expresado en %), en cuatro genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (sombros). LSD p<0,05

En el **PMG** se observó que el testigo (30,58g) arrojó un mayor valor mayor que S1 (29,82g), pero no se diferenció significativamente, aunque si se diferenció de los restantes tratamientos, siendo S4 (25,38g), el que mostró el valor más bajo con una caída del 17% (Figura 12).

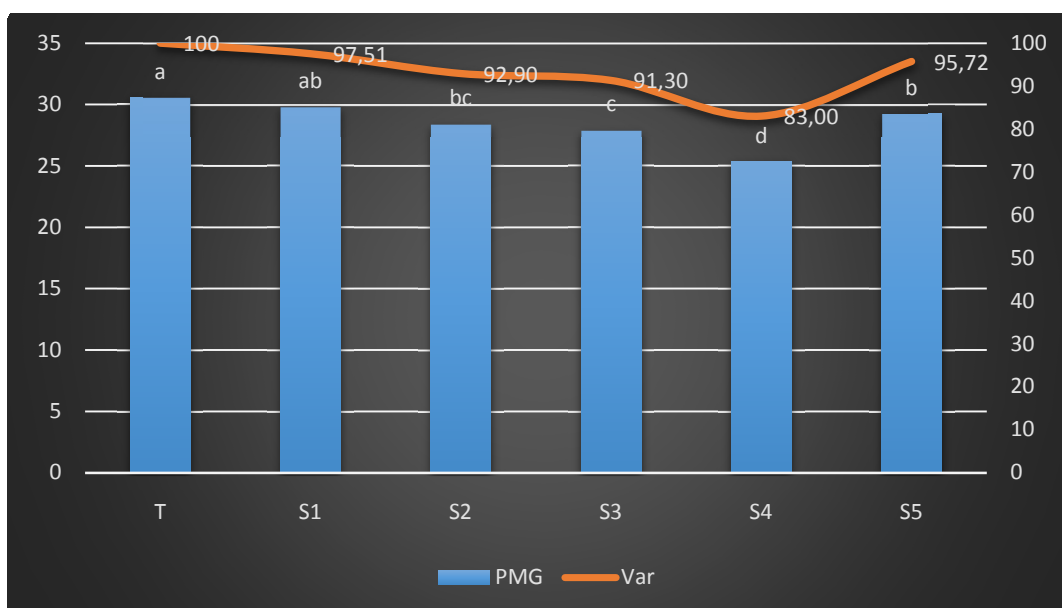


Figura 12. Peso de mil granos en gramos en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), para los distintos tratamientos (sombreos) en cuatro genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (sombreos). LSD $p < 0,05$

En el **rendimiento** de grano el Testigo (3710 Kg.ha^{-1}) se diferenció significativamente del resto de los tratamientos. Los tratamientos S2 (1376 Kg.ha^{-1}) y S3 (1323 Kg.ha^{-1}) fueron los que mostraron mayor caída, representando un 63% y 65%, mientras S1y S4 mostraron una caída de 42% y 44%.

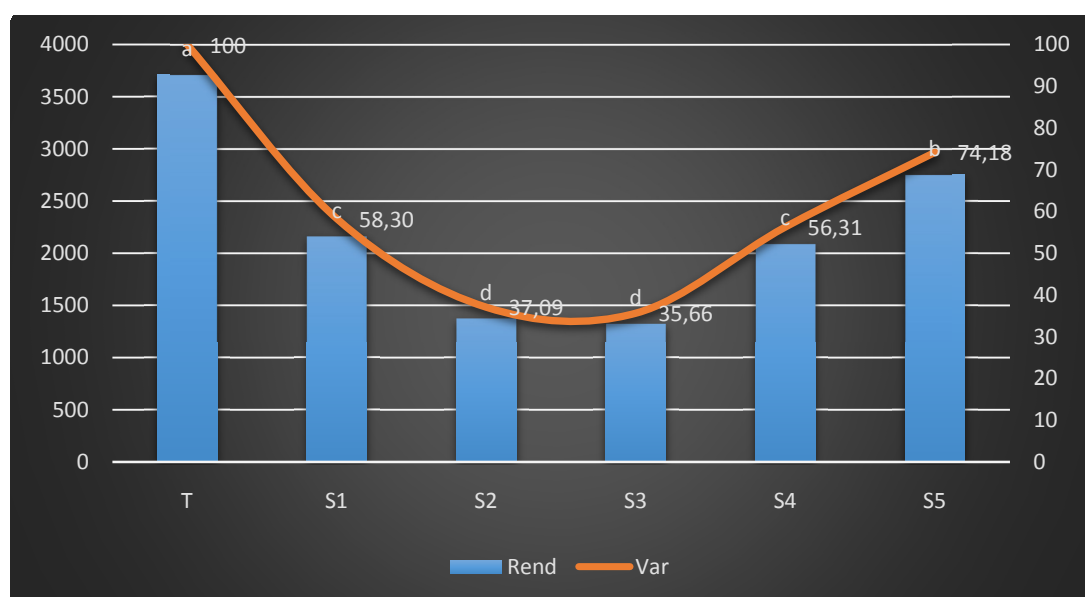


Figura 13: Rendimiento (Kg.ha^{-1}) en los diferentes sombreos, y variación de cada sombreo respecto al testigo (Var= expresado en %), en un ensayo con cuatro genotipos de avena. Letras diferentes muestran diferencias significativas entre los tratamientos (sombreos). LSD $p < 0,05$

6-Discusión

El presente estudio se realizó con el objetivo de determinar el periodo crítico en la determinación del rendimiento en diferentes cultivares de avena, lo cual resulta relevante a la hora de ubicar dicho periodo bajo las mejores condiciones climáticas con el objetivo de maximizar los rendimientos. Cabe destacar la importancia de esta investigación, ya que existen pocos trabajos de información respecto a avena (Mahadevan *et. al.*, 2016), y en muchos casos se debe extrapolar con estudios realizados en cebada (Arisnabarreta & Miralles, 2008) o trigo (Fischer, 1985, Slafer *et*

al., 1990) que, si bien tienen características fisiologías similares, no son totalmente coincidentes. Este dato es una herramienta de suma importancia en el manejo del cultivo de avena, independientemente de su destino, a la hora de tomar decisiones sobre la fecha de siembra, densidad, ciclo de cultivo, fertilización, etc., permitiendo situar el período crítico de los genotipos en los valores más adecuados de coeficiente fototermal (Q) con el objetivo de obtener altos rendimientos de granos. Como se explicó en la introducción, nos referimos a esta descripción del rendimiento y sus componentes para que nos ayuden a explicar con mayor facilidad los resultados de este ensayo. El rendimiento en los cereales suele definirse mediante algunos modelos simples, uno de ellos contempla la generación de biomasa y su partición, y otro, los componentes numéricos, siendo estos modelos complementarios y no excluyentes.

Respecto al primero de los modelos, éste puede ser expresado a través de la cantidad de biomasa acumulada durante el ciclo del cultivo y qué proporción de ésta es particionada hacia los órganos reproductivos, es decir el índice de cosecha (IC) (Van der Werf, 1996). De esta manera, la producción de biomasa para un amplio rango de cultivos, está determinada por la cantidad de radiación incidente durante el periodo de crecimiento (R_{inc}), la eficiencia en la intercepción de radiación (E_i), la cual es función del índice de área foliar (IAF) y de la arquitectura del canopy (determinada por el coeficiente k de extinción) (Monteith, 1977; Evans *et al.*, 1978); y la eficiencia de uso de la radiación (EUR), que expresa la capacidad del cultivo de transformar la energía lumínica interceptada o absorbida en biomasa (Evans *et al.*, 1978; Gifford *et al.*, 1984).

En el segundo modelo citado, el rendimiento es definido por sus dos principales componentes numéricos, el NGM^2 y el peso promedio de los mismos (Slafer & Rawson, 1994). De los dos componentes, el primero es el que mejor explica las variaciones en el rendimiento final (Peltonen-Sainio *et al.*, 2007; Fischer, 2008). Algunas de estas variaciones son debidas a factores ambientales (humedad, temperatura, radiación, etc.) y de manejo (fecha de siembra, fertilización, densidad, etc.). En nuestro caso, observamos una fuerte reducción del rendimiento en los sombreos S2 y S3 donde, desglosando esta variable, se puede evidenciar que el NGM^2 es el principal componente del rendimiento afectado, mientras que el PMG se mantuvo más estable, experimentando reducciones entre S2 y S4, pero especialmente en S4 y de menor magnitud que en el caso del NGM^2 . Hay escasos trabajos sobre la generación del rendimiento en avena (Peltonen-Sainio & Peltonen, 1995; Peltonen-

Sainio *et al.*, 2007, Peltonen-Sainio *et al.*, 2009), por ello los resultados se comparan con trigo y cebada, dadas las similitudes de la avena con estos cultivos.

Los resultados encontrados en nuestro ensayo confirman el gran efecto de la radiación sobre el rendimiento en la fase de prefloración, tal como ha sido encontrado en otros trabajos en trigo (Arisnabarreta & Miralles, 2008, Mahadevan *et al.*, 2016). En este sentido, independientemente de los genotipos evaluados, los sombros que mayor disminución mostraron fueron S2 y S3. En el caso del S2 el período abarcado fue desde los 37 a los 8 días previo a la floración (\pm días según los genotipos), mientras que el S3 fue desde 23 días previos hasta 2 días después de la floración (\pm días según los genotipos).

Como se mencionó anteriormente, las condiciones ambientales que se presentan durante el período crítico, incidirán de manera importante en el número final de granos establecidos. Condiciones de estrés térmico e hídrico, pueden ocasionar mermas en la producción a través de los componentes del rendimiento. Para el período del ensayo, las condiciones climáticas se ubicaron en los valores normales de la región, con algunos valores de precipitación por encima de la media histórica.

Bajo las condiciones de nuestro ensayo el rendimiento de grano mostró caídas del 73 y 75% para los tratamientos S2 y S3 respectivamente, explicadas por la disminución en el NGM^2 y NGP , con una disminución en el NGM^2 del 49% y 48% para S2 y S3 respectivamente. En el mismo sentido, en el NGP tuvo un comportamiento similar, ya que S2 y S3 mostraron una caída de 36% y 39%, evidenciando una relación entre estas dos variables de rendimiento. Por su parte, el PMG , presentó la mayor caída en el S4. Al observar el NP , se visualizó una tendencia diferente a lo visto en las dos primeras variables analizadas, sólo el testigo se diferenció del resto de los tratamientos (S1, S2, S3, S4, S5), coincidiendo con lo expresado por Arisnabarreta & Miralles (2008) en estudios realizados en cebada. Sin embargo, la reducción en S5 puede atribuirse a error experimental, ya que en ese momento el número de panojas estaba definido.

Los resultados encontrados en nuestro ensayo son coincidentes con los mencionados en trigo por diversos autores (Fischer, 1985; Slafer & Rawson, 1994; Slafer *et al.*, 1990; Cerrudo *et al.*, 2013, Sadras, 2009; Sadras & Slafer, 2012; Slafer, G.A., Savin, R., Sadras, V.O., 2014), que afirman que las caídas en el rendimiento se relacionaron con disminuciones en el NGM^2 . Otros estudios en avena refuerzan este

hallazgo (Denisov, 1974; Sawicki, 1984; Peltonen-Sainio, 1990; Kumar *et al.*, 2004). Por su parte, Mahadevan *et al.* (2016) señalan que las reducciones en el rendimiento de avena y el número de granos estuvieron acompañadas por un aumento en el peso promedio de los granos.

Como se mencionó en la introducción de este trabajo, las condiciones ambientales que se presentan durante el periodo crítico, incidirán de manera importante en el número final de granos establecidos. Algunos autores, como Slafer *et al.* (1990) encontraron que el mayor peso de las espigas en floración de trigo estaba positivamente asociado con un mayor número de flores fértiles en ese momento. Dependiendo del cultivar y de las condiciones de crecimiento, la mortandad de flores oscila entre 37 y 40% en cebada (Arisnabarreta & Miralles, 2006) y entre 60 y 85% en trigo (González *et al.*, 2011). La mortandad de las flores se debe a la limitada disponibilidad de asimilados para el crecimiento de la espiga debido al crecimiento simultáneo del tallo (Kirby, 1988; González *et al.*, 2011). De esta manera ante iguales valores de partición a espigas, una mayor cantidad de biomasa acumulada a floración determinará un mayor peso de espigas y por lo tanto un mayor número de granos. Por consiguiente el número de granos dependerá del estado del cultivo antes de comenzar el período crítico y las condiciones ambientales que disponga durante ese período.

Con respecto a los genotipos, L2 (2528 Kg.ha⁻¹) y L5 (2381Kg.ha⁻¹) se destacaron por su rendimiento en grano, diferenciándose de las variedades Calén (1945Kg.ha⁻¹) y Maná (2087Kg.ha⁻¹). Además se visualizó una diferencia significativa en el NGP, L2 (61,4 granos) y L5 (71 granos) presentaron los valores más altos y significativamente diferentes entre sí, mientras que Calén (48,3 granos) y Mana (51,1 granos) mostraron los valores más bajos. Por otro lado la variable NP se diferenció significativamente entre los genotipos, siendo Mana (452 panojas) el mayor valor seguido por Calén (422 panojas), L2 (354 panojas) y L5 (313 panojas), mientras que no se entronaron diferencias para NGM² y PMG.

Si bien en nuestro trabajo se han detectado pérdidas de rendimiento como respuesta a situaciones de estrés (disminución de la radiación incidente) las cuales fueron explicadas por caídas en sus componentes, no existen trabajos en avena que contemplen el efecto causado sobre la generación de la biomasa y su partición. Con este nuevo enfoque se podría explicar los mecanismos ecofisiológicos afectados bajo condiciones de estrés y cómo actúan sobre la interceptación de la radiación y la biomasa y su influencia en el rendimiento de grano.

7. Conclusiones

El estrés causado por los sombreos en la fases de prefloración de avena afectan el rendimiento de grano y sus componentes, al igual que ha sido documentado en trigo. Bajo las condiciones de nuestro ensayo el rendimiento de grano mostró las mayores caídas en los tratamientos S2 y S3, que abarcaron 37 días previos y 8 días posteriores a floración y 23 días previos hasta 2 días después de floración, períodos en que se pudo observar el gran efecto de la radiación sobre el rendimiento en la fase de prefloración.

En avena las variaciones en el rendimiento se explican principalmente por el NGM^2 y en menor medida por el PMG. Dentro del NGM^2 , el NGP explica estas caídas y no así el NP. A diferencia de otros cereales, se observó que esta última variable presentó pocas variaciones.

Las líneas L2 y L5 se destacaron por su rendimiento en grano, mostrando un alto NGP frente a las variedades comerciales Calén y Maná.

8. Bibliografía

- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. 2006. Floret development and grain setting in near isogenic two- and six-rowed barley lines (*Hordeumvulgare* L.). Field Crops Research 96:466-476.
- Arisnabarreta, S. & Miralles, D.J. 2008. Critical period for grain number establishment of near isogenic lines of two- and six-rowed barley. Field Crops Research 107:196-202.
- Barnard, C. 1964. Form and Structure. En: Grasses and Grasslands. Ed. C. Barnard (Ed). Macmillan: London pp. 47-72.
- Beratto, M.E. 2002. Avena, calidad del grano comercialización agroindustria y exportación. Boletín INIA N° 87. 54 pp.
- Bonnett O.T. 1961. The oat plant: Its histology and development. Illinois Agric. Station. 112pp.
- Boonchoo, S., Fukai, S. & Hetherington, S.E., 1998. Barley yield and nitrogen protein concentration as affected by assimilate and nitrogen availability. Australian Journal of Agricultural Research 49:695-706.
- Cerrudo A., J. Di Matteo, E. Fernandez, E., M. Robles, L. Olmedo Pico, and F. Andrade. 2013. Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. Crop & Pasture Science 64: in press.
- Cotriza, 2017. Provisión de información y análisis del mercado nacional e internacional de granos. Disponible en: <https://www.cotriza.cl/mercado/avena/internacional/> Ultimo acceso: Diciembre 2018.
- Denisov, P. V. 1974. The number of grains per ear or per panicle of cereals as the most important element in yield structure. Trudy po Prikland noi Botanice, Genetike i Selektiv. 51:171-186.
- Di Nucci, E., Formento, N. & Velázquez, J.C. 2011. Producción de forraje y comportamiento sanitario de la avena. EEA INTA Paraná. pp. 4.
- Evans L.T., Wardlaw, I.F. & Fischer R.A. 1978.Wheat.En "Crop Physiology".L.T, Evans (Ed.). Cambridge University Press, GB. pp. 101-149
- FAO. 2017. Estadísticas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/E> Ultimo acceso: Noviembre de 2018.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernel in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. Journal of Agricultural Science 105:447-461.
- Fischer, R.A. 2008. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. Field Crops Research 105: 15-21.
- Forjan H. & L. Manso. 2011. La superficie sembrada con cultivos de cosecha fina en la región de influencia de la experimental. Carpeta de cosecha fina 2010/11. Chacra Experimental Barrow. 20 pp.
- Frederick, J. R. & Bauer, P. J. 1999. Physiological and numerical components of wheat yield. Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. E.H. Satorre& G. Slafer (Eds). pp: 45-65.

Frey, D. 1998. "International Trade Commission Rules on Harm to U.S. Gluten Industry." Kansas Wheat Scoop. No. 1054, 29 January.

García Lamothe A, Díaz de Ackermann M. 2007. Interacción de la respuesta a N con el ataque de roya de la hoja en trigo. In Jornada de Cultivos de Invierno (2007, Young, Río Negro, UY). Uruguay. INIA La Estanzuela. Serie Actividades de Difusión no. 484. p. 25-37

Gifford, R.M., Thorne, J.H., Hitz, W.D., & Giaquinta, R.T. 1984. Crop productivity and photoassimilate partitioning. *Science* 225: 801-808.

González, F.G., Miralles, D.J. & Slafer, G.A. 2003. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. *Field Crops Research* 81:17-27.

González, F.G., Miralles, D.J. & Slafer, G.A. 2011. Wheat floret survival as related to spike growth during pre-anthesis. *Journal of Experimental Botany* 62:4889-4901.

Grashoff, C. & D' Antuono, L.F. 1997. Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *European Journal of Agronomy* 6:275-293.

Kirby, E.J. 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Research* 18:127-140.

Kumar, S., R.C. Singh, V.S. Kadian, B.P.S. Malik and S. Kumar. 2004. Correlation and path coefficient analysis of yield and yield components in wheat (*Triticum aestivum* L.) under different dates of sowing. *Ann. Biol.*, 20(2): 239-242.

Langer, R. H. & Hanif, M. 1973. A study of floret development in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany* 37:743-751.

Mahadevan, M., Calderini, D. F., Zwer, P. K. & Sadras, V. O. 2016. The critical period for yield determination in oat (*Avena sativa* L.). *Field Crops Research*, 199:109-116.

Massigoge, J., Wehrhahne, N. L. & Perea, A. 2011 Evaluación de especies y cultivares de cereales de invierno para silaje de planta entera. Años 2008, 2009 y 2010. *Carpeta de Actualización Técnica de Ganadería 2010/11*. pp. 33-35.

Ministerio de Agroindustria, 2017. Disponible en <http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/> Último acceso: Diciembre 2018.

Miralles, D. 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina, Informe Técnico, 101pp.

Miralles, D.J., Richards R.A. & Slafer G.A. 2000. Duration of stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology* 27:931-940.

Miralles, D.J., Windauer, L.B. & Gómez, N.V. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de grano. En: *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo*. E.H. Satorre et al. (Eds.). Editorial FAUBA, Bs. As., Argentina. pp. 60-71.

- Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of Royal Society of London B*. pp. 277-294.
- Peltonen-Sainio, P. 1990. Genetic improvement in the structure of oat stands in northern growing conditions during this century. *Plan breeding* 104: 340-345
- Peltonen-Sainio P., Jauhiainen L., Rajala A., & Muurinen S. 2009. Tiller traits of spring cereals under tiller-depressing long day conditions. *Field Crops Research* 113: 82-89.
- Peltonen-Sainio, P., & Peltonen, J. 1995. Floret set and abortion in oat and wheat under high and low nitrogen regimes. *European Journal of Agronomy* 4: 253-262.
- Peltonen-Sainio, P., Kangas, A., Salo, Y. & Jauhiainen L. 2007. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: evidence based on 30 years of multi-location trials. *Field Crops Research* 100: 179-188.
- Prystupa, P., Savin, R. & Slafer, G.A., 2004. Grain number and its relationship with dry matter N and P in the spikes at heading in response to N x P fertilization in barley. *Field Crops Research* 90:245-254.
- Sadras V., and D. Calderini. 2009. *Crop Physiology. Applications for genetic Improvement and agronomy*. Academic Press. Elsevier. Amsterdam. 581pp.
- Sadras, Victor & Slafer, Gustavo. 2012. Environmental modulation of yield components in cereals: Heritabilities reveal a hierarchy of phenotypic plasticities. *Field Crops Research*. 127. 215-224.
- Sawicki A., 1994. Elasto-plastic interpretation of oedometric test. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 41 (1-2): 111-131.
- Sibony, M. & Pinthus, M. J. 1988. Floret initiation and development in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Annals of Botany* 61:473-479.
- Siddique, K.H., Belford, R.K., Perry, M.W. & Tennant, D. 1989. Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a Mediterranean-type environment. *Crop and Pasture Science* 40:473-487.
- Slafer, G.A., Andrade, F.H. & Satorre, E.H. 1990. Genetic improvement effects on pre-anthesis physiological attributes related to wheat grain yield. *Field Crops Research* 23:255-263.
- Slafer, G.A. & Rawson, H.M. 1994. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Australian Journal of Plant Physiology* 21:393-426.
- Slafer G.A., Miralles D.J., Savin R., Whitechurch E.M. & González, F.G. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en trigo. En: *Producción de Granos: bases funcionales para su manejo*. E.H. Satorre et al. (Eds.). Editorial FAUBA, Bs. As., Argentina. pp. 101-132.
- Slafer, G.A., Savin, R., Sadras, V.O., 2014. Coarse and fine regulation of wheat yield components in response to genotype and environment. *Field Crops Res.* 157,71-83.
- Squella, N. F. & Ormeño, J. 2007. La avena como cultivo forrajero. En: *Técnicas de producción ovina para el secano mediterráneo de la sexta región* Bibliotecas del INIA. pp.19-36.

Van der Werf, A. 1996. Growth analysis and photoassimilate partitioning. En: Photoassimilate Distribution in Plants and Crops: Source-Sink Relationships. E. Zamski & A. Schaffer (Eds.). Marcel Dekker Inc. New York. pp. 1-20.

Youssefian, S., Kirby, E.J. & Gale, M.D. 1992. Pleiotropic effects of the GA-insensitive Rht dwarfing genes in wheat. 2. Effects on leaf, stem, ear and floret growth. Field Crops Research 28:191-210.

Zadoks, J.C., Chang, T.T & Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415- 421.